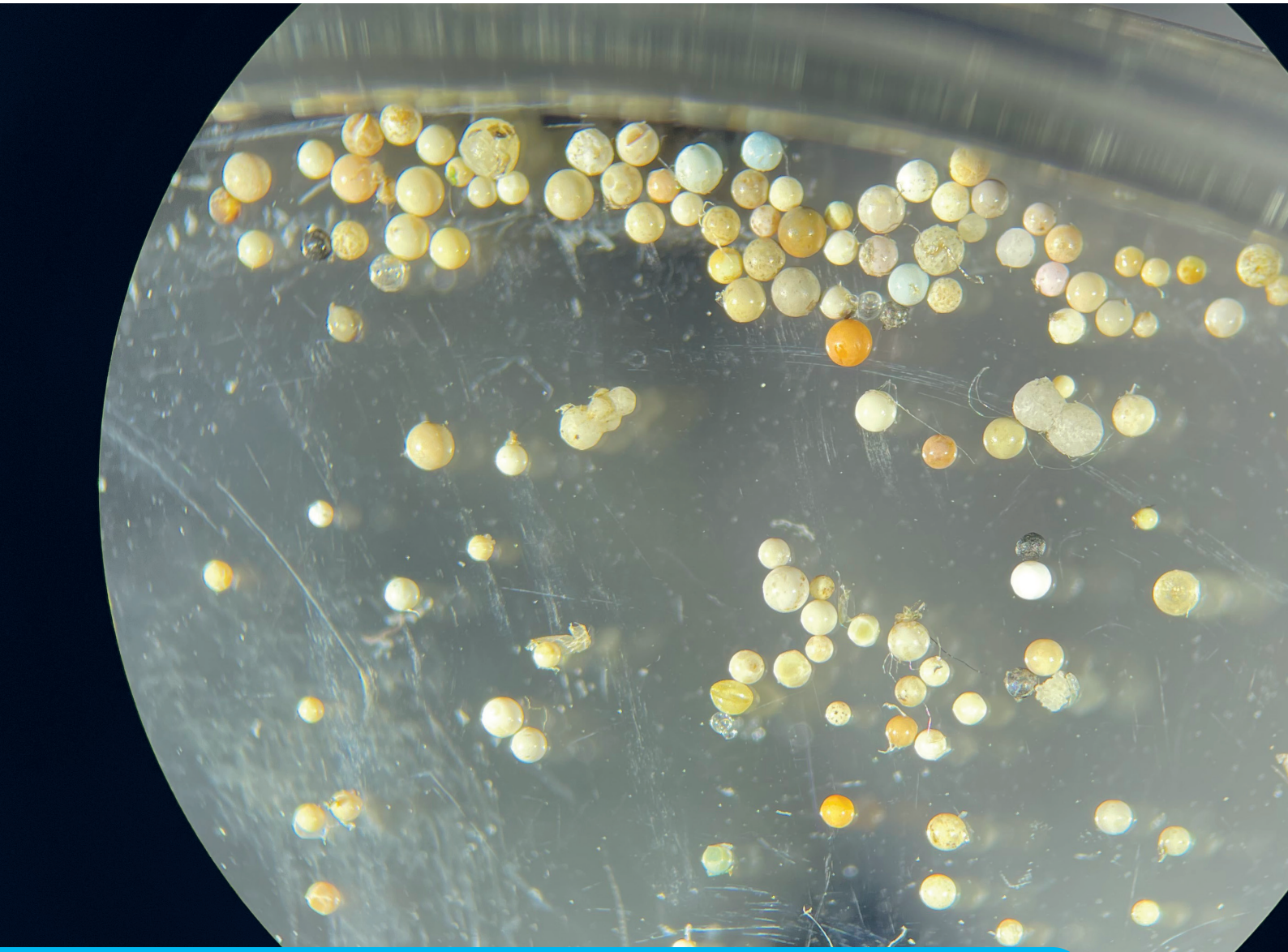
Landesamt für Natur,
Umwelt und Klima
Nordrhein-Westfalen



PRIMÄRES MIKROPLASTIK IM ABWASSER INDUSTRIELLER EINLEITER

Eine Pilotstudie am Rhein

LANUK
Kompetenz für ein lebenswertes Land

Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund 4

1.1 Mikroplastik – Definition und Herkunft 5

1.2 Bisherige Untersuchungen des Landes NRW 8

1.3 Weitere Untersuchungen im Rhein 9

1.4 Herausforderungen bei der Untersuchung von Mikroplastik 10

2 Messprogramm 2023/24 12

2.1 Ziel der Untersuchungen in Einleitern und Rhein 12

2.2 Auswahl der Messstellen 12

2.3 Probenahme Abwasser 13

2.4 Probenahme Oberflächenwasser 15

2.5 Probenaufbereitung und Analytik (Oberflächengewässer und Abwasser) 16

3 Ergebnisse und Diskussion 19

3.1 Ergebnisse Abwasser 19

3.2 Ergebnisse Rhein-Untersuchung 22

4 Fazit und Ausblick 24

5 Anhang 25

1 Hintergrund

Mikroplastik „Beads“ und „Pellets“ (z.T. auch als „Granulate“ oder „Nurdles“ bezeichnet) in der Umwelt werden in den letzten Jahren verstärkt in den Medien und der breiten Öffentlichkeit diskutiert.

Es gibt gleich mehrere Gründe für die Fokussierung auf diese speziellen Formen des Mikroplastiks. Dazu zählt sicher auch die auffällige Form und Sichtbarkeit dieser Partikel, auf die z.B. Spaziergänger im Uferbereich von Gewässern aufmerksam werden. Zudem zeigen Schätzungen über den Eintrag von primärem Mikroplastik (Definition s. nächsten Abschnitt) in die Umwelt, dass diese Formen des Mikroplastiks einen nicht unerheblichen Anteil an der Gesamtproblematik darstellen (z. B. Earth Action 2023[1]). Nicht zuletzt ist auch die leichtere Identifikation von Beads und Pellets in Umweltproben sowie eine klarere Zuordnung von potentiellen Quellen und Eintragspfaden ein Grund, diese Form des Mikroplastiks genauer zu betrachten. Dadurch können einfacher und konkreter Gegenmaßnahmen geplant und ergriffen werden (z. B. EU 2023[2]), als dies bei diffus eingetragenem Mikroplastik z. B. durch Reifenabrieb oder Vermüllung möglich ist.

Das Land Nordrhein-Westfalen hat sich seit Beginn der verstärkten Forschung zu Mikroplastik in Fließgewässern bei diesem Thema eingebracht und war maßgeblich an der ersten systematischen Untersuchung über ein großes geographisches Gebiet beteiligt (s. Heß et al. 2018[3]). Der Fokus der bisherigen Untersuchungen lag jedoch auf Gesamt-Mikroplastik und einem potentiellen Eintrag über kommunales Abwasser.

Nachdem im nordrhein-westfälischen Teil des Rheins in den letzten Jahren in Untersuchungen durch die Universität Basel (Mani et al. 2015[4], 2018[5]) und Greenpeace (2020[6], 2021[7] und 2024[8]) auf bestimmten Abschnitten wiederholt erhöhte Konzentrationen der sogenannten Beads festgestellt wurden, haben das Ministerium für Umwelt, Natur und Verkehr NRW (MUNV) und das damalige Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV), heute Landesamt für Natur, Umwelt und Klima NRW, einen zusätzlichen Fokus auf die Untersuchung von Beads im Rhein gelegt. In enger Zusammenarbeit mit den Bezirksregierungen Düsseldorf und Köln wurden mehrere industrielle Einleiter als mögliche Eintragsquellen untersucht.

---

1 Earth Action (2023): “Leakage of microplastics into oceans and land”. https://www.e-a.earth/wp-content/uploads/2024/05/EA_2024_Update_Primary_Microplastics.pdf

2 EU Commission (2023): Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on preventing plastic pellet losses to reduce microplastic pollution. COM/2023/645 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52023PC0645

3 Heß, M., Diel, P., Mayer, J., Rahm, H., Reifenhäuser, W., Stark, J., Schwaiger, J. (2018): Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands: Bundesländerübergreifende Untersuchungen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/6_sonderreihen/L%c3%a4nderbericht_Mikroplastik_in_Binnengew%c3%a4ssern.pdf

4 Mani, T., Hauk, A., Walter, U. & Burkhardt-Holm, P. (2015): Microplastics profile along the Rhine River. Scientific Reports 5(1):17988. DOI: 10.1038/srep17988. https://www.nature.com/articles/srep17988

5 Mani, T., Blarer, P., Storck, F.R., Pittroff, M., Wernicke, T. & Burkhardt-Holm, P. (2018): Repeated detection of polystyrene microbeads in the Lower Rhine River. Environmental Pollution 245: 634-641. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.036

6 Greenpeace (2020): Nicht sauber sondern Rhein. https://www.greenpeace.de/publikationen/sauber-rhein

7 Greenpeace (2021): Nicht sauber sondern Rhein, Teil 2. https://www.greenpeace.de/publikationen/sauber-rhein-teil-2

8 Greenpeace (2024): Mikroplastik im Rhein 2024. https://www.greenpeace.de/publikationen/mikroplastik-im-rhein-2024

1.1 Mikroplastik – Definition und Herkunft

Der Begriff „Mikroplastik“ hat sich durchgesetzt als Sammelbezeichnung für sehr unterschiedliche Partikel, die aus unterschiedlichsten Kunststoff-Materialien bestehen und in unterschiedlichsten Formen vorliegen können. Entsprechend weitgefasst sind Definitionsvorschläge z. B. der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA)[9] oder der Internationalen Organisation für Normung (ISO)[10], die ***alle Partikel, die aus synthetischen oder stark modifizierten natürlichen Polymeren bestehen oder diese zu großen Anteilen enthalten, unlöslich in Wasser (bei 20° C) und stabil gegen Abbau sind***, einbeziehen. Damit erfolgt eine Abgrenzung von partikulärem Mikroplastik und flüssigen bzw. gelartigen Polymeren. Bezüglich des Größenbereichs hat sich einheitlich eine Obergrenze von 5 mm durchgesetzt – wobei Partikel zwischen oberhalb 1 bis 5 mm meist als „großes Mikroplastik“ abgegrenzt werden. Bezüglich der unteren Größengrenze unterscheiden sich aktuelle Definitionsvorschläge teilweise. Hier wird diskutiert, ob alle Partikel unterhalb 5 mm als Mikroplastik definiert werden oder eine Untergrenze als zusätzliche Abgrenzung zwischen Mikro- und Nanoplastik festgelegt werden sollte (bei 1 µm oder 100 nm). Nach Vorschlag der ISO liegt die Untergrenze bei 1 µm. In der Praxis ergibt sich die Untergrenze meist durch methodische Limitierungen der Mindestgröße von Partikeln, die aus komplexen Umweltmatrices isoliert und identifiziert werden können (THOMPSON et al. 2024[11]).

Der Begriff „Mikroplastik“ umfasst also eine Vielzahl unterschiedlichster Kunststoffarten, die sich aufgrund ihrer spezifischen Materialeigenschaften in der Umwelt unterschiedlich verhalten und sich möglicherweise auch hinsichtlich ihrer Wirkung auf Organismen unterscheiden. Aufgrund der unterschiedlichen Entstehung wird zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik differenziert. Die folgende Definition hat sich im deutschsprachigen Raum etabliert (s. z.B. BfR[12], BAFU[13]), wird aber keineswegs in allen Studien so verwendet (s. u.).

Primäres Mikroplastik bezeichnet Kunststoffpartikel, die gezielt in Größenklassen unter 5 mm hergestellt werden. Darunter fallen sowohl die Rohgranulate für die industrielle Weiterverarbeitung, als auch konkrete Produkte für verschiedene Einsatzbereiche. Häufig hat das primäre Mikroplastik eine spezifische Form, die es klar als solches erkennbar macht:

Pellets sind meist zylindrisch oder linsenförmig geformte Kunststoffpartikel im Größenbereich um 1–5 mm (Bsp. Abb. 1a) und gehören damit zur Kategorie großes Mikroplastik. Hauptsächlich handelt es sich dabei um Rohgranulate für die industrielle Weiterverarbeitung zu größeren Kunststoffprodukten (z.B. Spritzgussverfahren) ohne direkte Einsatzgebiete. Der Eintrag in die Umwelt erfolgt hauptsächlich durch Verluste bei unsachgemäßer Handhabung bei der Abfüllung oder Lagerung. Bei starken Niederschlägen werden die Partikel bei Gewerbebetrieben in die Niederschlagswasser-Kanalisation (Trennsystem) der Werkgelände

[9] EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (2019): Annex XV Restriction Report – proposal for a restriction - intentionally added microplastics. https://echa.europa.eu/documents/10162/05bd96e3-b969-0a7c-c6d0-441182893720 [zuletzt besucht: 18.02.2021]

[10] ISO/TR 21960:2020: Plastics - Environmental aspects - State of knowledge and methodologies. International Organization for Standardization,Geneva, Switzerland. https://www.iso.org/standard/72300.html [zuletzt besucht: 01.03.2021].

[11] RICHARD C. THOMPSON et al. (2024): Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? Science386, eadl2746 (2024). DOI:10.1126/science.adl2746

[12] BUNDESAMT FÜR RISIKOBEWERTUNG (2024): https://www.bfr.bund.de/cm/343/mikroplastik-fakten-forschung-und-offene-fragen.pdf

[13] BUNDESAMT FÜR UMWELT SCHWEIZ (2021): https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/abfallglossar/primaer-sekundaer-mikroplastik.html

gespült. Bei der kommunalen Abwasserbeseitigung gelangt Mikroplastik über die Abwasserkanalisation mit Mischwasserentlastungen in die Oberflächengewässer. Auch Transportunfälle bei der Verladung i. V. m. Niederschlag in Häfen sind Eintragsquellen in Fließgewässer.

Als **Beads** werden perfekt runde Mikroplastikpartikel bezeichnet (Abbildung 1a+b), die i. d. R. einen Durchmesser zwischen ca. 10 und 1000 µm (= 1 mm) haben[14]. Auch sie werden zur industriellen Weiterverarbeitung hergestellt und können auf o. g. Wegen in Gewässer gelangen. Beads haben bzw. hatten zudem konkrete Anwendungsgebiete. Zwar gilt seit 2023 eine REACH-Beschränkung für absichtlich zugesetztes Mikroplastik (EU 2023/2055)[15], die die Verwendung von primärem Mikroplastik z. B. als Schleifmittel in Reinigungsmitteln und kosmetischen Produkten verbietet, aber in vielen Anwendungsbereichen gelten z. T. mehrjährige Übergangsfristen bzw. ist die Nutzung in geschlossenen Systemen, die eine Freisetzung in die Umwelt eigentlich ausschließen soll, weiterhin möglich. U. a. ist dadurch der Einsatz in Ionenaustauschern in Wasseraufbereitungsanlagen mit geschlossenen Systemen möglich. Das eingesetzte Austauscherharz hat häufig die Form von Beads – und kann u. a. bei Rückspülvorgängen austreten und in Gewässer gelangen – sowohl aus kleinen als auch aus industriellen Anlagen.

Darüber hinaus gibt es weitere Kunststoffprodukte, die ebenfalls im Größenbereich des Mikroplastiks hergestellt und angewendet werden, die aber aufgrund ihrer unspezifischen Form insbesondere in Umweltproben nicht eindeutig als primäres Mikroplastik zu identifizieren sind (Abbildung 1 b+c). Dazu gehören z. B. Füllgranulate in Kunstrasen und Sportböden, für die noch eine Übergangsfrist bis Oktober 2031 bis zum Greifen der o. g. REACH-Beschränkung gilt. Sowohl Pellets als auch irregulär geformte Partikel werden häufig auch als **(Mikro-)Plastikgranulat** bezeichnet. In anderen Veröffentlichungen werden grundsätzlich alle Rohmaterialien zur Weiterverarbeitung unter dem Begriff „Granulate“, „Pellets“ oder „Nurdles“ zusammengefasst.

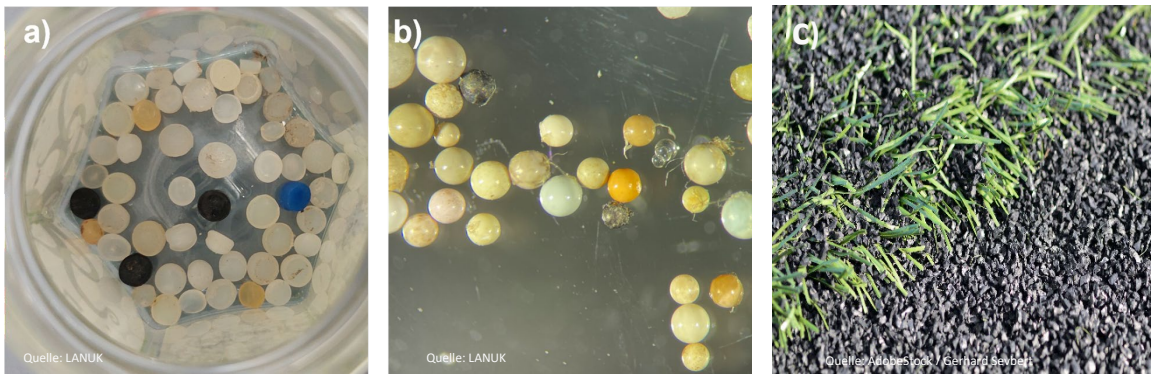


Abbildung 1: Verschiedene Arten des primären Mikroplastik:
a) Zylindrische und linsenförmige Pellets im Größenbereich um etwa 5 mm (Bildquelle: LANUK NRW)
b) Vergrößerung verschiedener Beads im Größenbereich um ca. 200-900 µm aus Rheinwasserproben. (Bildquelle: LANUK NRW)
c) Kunststoffgranulat als Füllmaterial in Kunstrasen als Beispiel für unregelmäßig geformtes primäres Mikroplastik; Bildquelle: AdobeStock / Gerhard Seybert

14 https://en.wikipedia.org/wiki/Microbead#_cite_note-8

15 Verordnung (EU) 2023/2055: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2023_238_R_0003

Sekundäres Mikroplastik entsteht durch den Zerfall größerer Plastikteile, wie z. B. Plastikflaschen, Verpackungen oder landwirtschaftlich eingesetzte Folien, die durch eine unsachgemäße Entsorgung oder Unachtsamkeit in die Umwelt gelangen. Durch Umwelteinflüsse, wie UV-Strahlung oder mechanische Einwirkung, zerfallen diese Plastikprodukte in immer kleinere Einzelteile (Abbildung 2 A+B) bis schließlich Mikroplastik (< 5 mm) entsteht. Der Eintrag von sekundärem (Mikro)Plastik erfolgt zu großen Teilen über diffuse Pfade.

Mikroplastik, das durch die Nutzung von Plastikprodukten entsteht, wie z. B. Fasern aus synthetischer Kleidung oder der Abrieb von Autoreifen, wird je nach Veröffentlichung einer anderen Kategorie zugeordnet. Während es im deutschsprachigen Raum aufgrund der erst sekundären Entstehung meist dem sekundären Mikroplastik zugerechnet wird, unterscheiden andere Autoren zwischen direkt eingetragenen Partikeln als primärem Mikroplastik (inklusive Fasern und Abrieb) und erst sekundär in der Umwelt aus größeren Produkten entstehendem sekundären Mikroplastik.

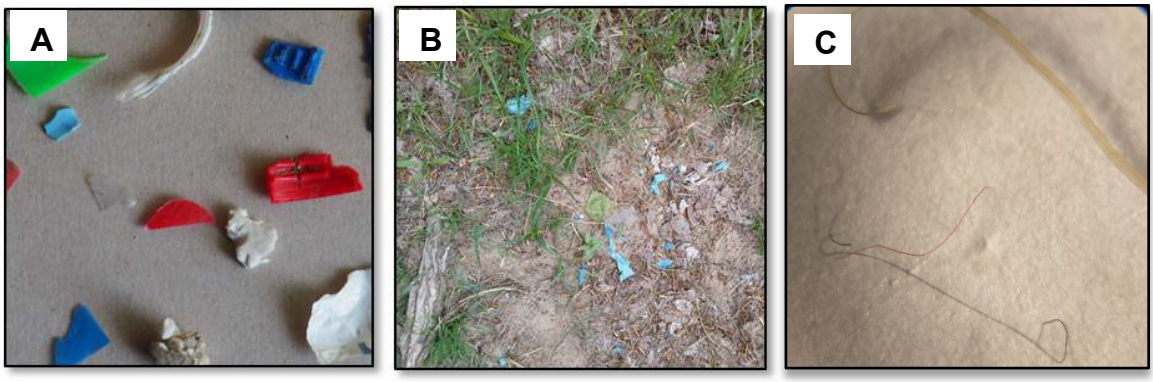


Abbildung 2: Auf dem Weg zum sekundären Mikroplastik.
(A+B) Entstanden durch den Zerfall größerer Kunststoffprodukte. Bildquelle: LANUK
(C) Mikroplastik-Fasern unterschiedlicher Stärke und Kunststofftypen, die sich aus synthetischen Geweben (z. B. Kleidung, Obstnetze) lösen. Bildquelle: LANUK

U. a. durch diese unterschiedlichen Zuordnungen gehen Schätzungen, wieviel primäres Mikroplastik jährlich in die Umwelt eingetragen wird, z. T. weit auseinander. In einem Bericht der IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES, 2017[16]) wird die jährliche Eintragsmenge an primärem Mikroplastik in die Ozeane auf 0,3 bis 2,5 Millionen Tonnen pro Jahr geschätzt. Allerdings werden dabei jegliche Kunststoffpartikel kleiner als 5 mm, die direkt in die Umwelt eingetragen werden, als primäres Mikroplastik bezeichnet – d. h. in dem Fall auch Fasern von synthetischer Kleidung oder Reifenabrieb, die beide einen hohen Anteil an der berechneten Summe haben. Ähnlich sieht die Definition und die darauf basierenden Schätzungen von *Earth Action* (2023[17]) aus, die auf einen Eintrag von etwa 3,8 Millionen Tonnen primäres Mikroplastik in die marine Umwelt und zusätzlich 8,9 Millionen Tonnen in terrestrische Ökosysteme kommen. Wobei sich der Anteil an Pellets auf 848.000 t/a in die Meere und 3.515.000 t/a in terrestrische Ökosysteme beläuft. Dabei wird

16 IUCN (2017): Primary Microplastics in the Oceans - a Global Evaluation of Sources. https://static1.squarespace.com/static/5afae80b7c93276139def3ec/t/5b07eb43575d1f998b777933/1527245639561/IUCN+-+Primart+Microplastics+in+the+Oceans-+a+Global+Evalutation+of+Sources%2C+Julien+Boucher+and+Damien+Friot.pdf

17 EARTH ACTION (2023): "Leakage of microplastics into oceans and land". https://www.e-a.earth/wp-content/uploads/2024/05/EA_2024_Update_Primary_Microplastics.pdf

nicht weiter beschrieben, welche Formen als Pellets zusammengefasst werden – es ist aber davon auszugehen, dass hier generell Rohgranulate zur Weiterverarbeitung gemeint sind. Die Europäische Chemikalien Agentur (ECHA) sowie die Europäische Kommission adressieren in ihren Vorschlägen zur Einschränkung von Mikroplastik die Kategorien „vorsätzlich eingesetztes Mikroplastik“ (ECHA 2018[18]) und „unbeabsichtigt freigesetztes Mikroplastik“, wozu der Verlust von Pellets gehört. Dabei fasst die Kommission in ihrem Vorschlag zur „*Verhinderung des Verlusts von Plastikpellets zur Verringerung der Umweltverschmutzung durch Mikroplastik*“ alle Rohmaterialien zur Weiterverarbeitung in der Kunststoffproduktion unter den Begriff „Pellet“ zusammen – also auch die in dieser sowie der Greenpeace-Studie gesondert als Beads hervorgehobenen runden Partikel. In dem Papier werden Schätzungen von Pellet-Verlusten zwischen 52.140 und 184.290 Tonnen pro Jahr angegeben.

Da die Einteilung in bestimmte Kategorien nicht strikt definiert ist, sind die Angaben unterschiedlicher Studien häufig nicht vergleichbar. Angaben zur Freisetzung von „primärem Mikroplastik“ oder „Pellets“ etc. sollten daher entsprechend kritisch betrachtet und interpretiert werden.

1.2 Bisherige Untersuchungen des Landes NRW

Das Land NRW engagiert sich seit Beginn des aufkommenden Fokus auf Mikroplastik in diesem Bereich. So war das LANUV 2015 maßgeblich an der ersten systematischen Untersuchung über ein großes geographisches Gebiet beteiligt. Zusammen mit den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz sowie der Universität Bayreuth als wissenschaftlichem Kooperationspartner wurden insgesamt 52 Messstellen in den Einzugsgebieten von Rhein und Donau untersucht. Dabei wurde das Projekt von Beginn an als orientierende Untersuchungen betrachtet, da bis dato weder eine einheitliche Definition von Mikroplastik noch normierte Verfahren existierten. Dennoch konnten aus dem Projekt wichtige Kernaussagen für die weitere Ausrichtung zukünftiger Mikroplastik-Untersuchungen gezogen werden: insbesondere, dass (Mikro)Plastik an allen Probestellen nachgewiesen werden kann und somit von einer zivilisatorischen Grundlast von Kunststoffpartikeln in den Gewässern ausgegangen werden muss. Den größten Anteil des gefundenen Mikroplastiks stellten die sehr kleinen Partikel dar. Hauptsächlich wurden Fragmente gefunden – Beads und Pellets wurden eher vereinzelt bzw. lokal nachgewiesen. Die häufigsten Materialien waren PE (Polyethylen) und PP (Polypropylen) – also Materialien, die einerseits mit die höchsten Produktionsvolumina haben, aber andererseits auch durch ihre geringe Dichte eher als andere Materialien an der hier untersuchten Gewässeroberfläche zu erwarten sind.

Insgesamt lagen elf Messstellen in NRW, davon drei im Rhein (Bad Honnef, Düsseldorf und Bimmen). An keiner dieser drei Messstellen wurden Pellets gefunden. Beads wurden im Konzentrationsbereich von 0,1–0,8 Partikel/m³ nachgewiesen.

Aufgrund von Auffälligkeiten im Bereich der unteren Ruhr wurde 2017 in Kooperation mit dem Ruhrverband und der Universität Bayreuth ein intensiveres Messprogramm in diesem Bereich durchgeführt und u.a. zwei Messstellen im Rhein, unmittelbar ober- bzw. unterhalb der Ruhr-Einmündung, innerhalb von 24 Stunden dreimalig beprobt. Dabei wurden z. T. deutlich höher

[18] EUROPÄISCHE CHEMIKALIENAGENTUR (2018): Proposal for a restriction - use of intentionally added microplastic particles to consumer or professional use products of any kind. https://echa.europa.eu/de/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18244cd73

Gesamt-Mikroplastik-Konzentrationen und auch höhere Bead-Konzentrationen festgestellt (zwischen 4 und 36,5 Beads/m³ in den dreifachen Wiederholungsmessungen und bis 115 Beads/m³ in einer späteren Vergleichsmessung) als in der ersten Studie und auch bei allen Untersuchungen durch Greenpeace und Universität Basel. Der Maximalbefund von 115 Beads/m³ wurde nur einmalig ermittelt. Gleichzeitig konnte die Studie zeigen, dass die Streuung der Konzentrationen (hier bezogen auf Beads) schon im Zeitraum von 24 Stunden erheblich und um bis zu Faktor 6,7 an der gleichen Messstelle variiert und im Vergleich zu einem Wiederholungsprogramm nach sechs Monaten sogar um Faktor 11.

Die erste Studie ist als Bericht der fünf Bundesländer und Universität Bayreuth veröffentlicht (HEß et al. 2018). In dem Bericht wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass alle Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden müssen, da a) keine standardisierten Verfahren existierten und die angewandten Methoden noch in der Entwicklungsphase steckten, b) es sich um einmalige Stichproben handelte und c) durch die damals verwendete Netz-Maschenweite von 300 µm kleinere Partikel, wie z. B. auch sehr kleine Beads, nicht vollständig erfasst werden konnten (für Details s. HEß et al. 2018, S. 19 und 22).

Der hohe technische Aufwand, die fehlende Standardisierung der Probenahme- und Analyseverfahren und die damit einhergehenden Unsicherheiten sowie die vielen offenen Fragen rund um die Definition von Mikroplastik (z. B. wo liegt die untere Größengrenze, welche Kunststofftypen gehören dazu – ist Reifenabrieb Mikroplastik?) haben NRW dazu veranlasst, den weiteren Fokus zunächst auf die Erarbeitung von Grundlagen zu legen. Expertinnen und Experten des LANUV bzw. jetzigen LANUK aus verschiedenen Fachrichtungen arbeiten in nationalen und internationalen wissenschaftlichen Gremien mit, die sich mit der Definition von Mikroplastik sowie der Festlegung und Standardisierung von Probenahme- und Analyseverfahren beschäftigt haben, um so das Thema auf verschiedenen Ebenen voranzubringen.

Gleichzeitig werden im Rahmen der Forschungsförderung wissenschaftliche Projekte von Universitäten und Forschungseinrichtungen gefördert und begleitet, die sich insbesondere mit dem Eintrag von Mikroplastik (gesamt) aus kommunalen Abwässern beschäftigen.

1.3 Weitere Untersuchungen im Rhein

Ein Vergleich mit anderen Studien ist generell schwierig, da Probenahme- und Analytikverfahren nicht standardisiert sind und meist sehr individuell in den einzelnen Studien angewendet werden. Tatsächlich gibt es aber zwei Untersuchungen am Rhein, die mit relativ ähnlichen Verfahren durchgeführt wurden.

Die Universität Basel untersuchte den Rhein zweimal – einmal im Längsverlauf und einmal mit Fokus auf den Rheinabschnitt zwischen Köln und Duisburg, da dort in der ersten Studie vermehrt Beads aufgefallen waren. Dabei wurde ein ähnliches Equipment zur Beprobung genutzt, wie in der Länderstudie. Allerdings wurden anschließend nur Partikel größer als 300 µm ausgewertet und nur stichprobenartig analytisch untersucht. Der Vergleich zu den Ergebnissen der Länderstudie, bei der auch Partikel von 20 bis 300 µm ausgewertet wurden, ist also nicht gänzlich korrekt – kann aber für einen ersten Eindruck herangezogen werden.

Hauptbefund der Universität Basel (MANI et al. (2018)) waren weiße und beige Beads mit einem Durchmesser von 286–954 µm, die mit den niedrigsten Konzentrationen an den oberen

Messstellen im Bereich Köln/Leverkusen (Rheinkilometer 691; 0,03 Beads/m³) und den höchsten Konzentrationen oberhalb Düsseldorf (Rheinkilometer 720; 8,3 Beads/m³) und in Höhe Duisburg (Rheinkilometer 780,3; 9,2 Beads/m³) gefunden wurden. Damit liegen die Minimumbefunde der Uni Basel noch deutlich unterhalb der Minimumbefunde aus der Länderstudie im Rhein; die Maximalbefunde liegen im Bereich der Ergebnisse aus der Nachunteruntersuchung, die auch im selben Rheinabschnitt durchgeführt wurde, aber deutlich unter den dort gefundenen Spitzenwerten.

Greenpeace hat mit einem vergleichbaren Verfahren den Rhein dreimal ebenfalls mit Fokus auf Pellets und Beads untersucht. In der ersten Studie (2020) wurden Proben zwischen Koblenz und Duisburg untersucht und im Mittel 0,88 Partikel/m³ primäres Mikroplastik gefunden. Das entspricht etwa der Größenordnung der Befunde aus der Länderstudie. Nach Angaben von Greenpeace wurden Maximalbefunde im Bereich Krefeld-Uerdingen und Dormagen mit 3,2 bzw. 3,3 Beads/m³ ermittelt. In einer zweiten Kampagne in 2021 grenzte Greenpeace den Untersuchungsbereich auf den Abschnitt zwischen Bonn und Düsseldorf ein und fand dort im Mittel 0,63 Partikel/m³ primäres Mikroplastik und eine Maximalkonzentration von 1,1 Partikel/m³ unterhalb des Chemparks Dormagen. In einer dritten Rhein-Befahrung 2024 hat Greenpeace den Bereich noch einmal eingegrenzt und Proben an insgesamt sechs Messstellen zwischen Rheinkilometer 708 und 714 (oberhalb bis unterhalb Dormagen) entnommen und dabei zwischen 1,1 und 1,7 Partikel/m³ primäres Mikroplastik gefunden.

Greenpeace schließt sich bei der Vermutung über die Herkunft solcher Pellets und Beads anderen Autoren an, die vermuten, dass PS-DVB-Microbeads (Polystyrol/Divinylbenzol) als Träger von Ionenaustauscherharzen in Klärwerken oder industriellen Anlagen verwendet werden oder auch per Direkteinleitungen der Industrie zur Verschmutzung beitragen. Greenpeace weist auch auf leichte Unterschiede bei Proben aus der Fahrrinne gegenüber Proben aus den Uferbereichen hin. Das unterstreicht, wie wenig über das Verhalten von Mikroplastik in der Umwelt bisher bekannt ist und wie sehr individuelle Bedingungen wie hydrologische Verhältnisse, Verwirbelungen durch Schiffe oder Wettereinflüsse bei jeder einzelnen Probenahme zu berücksichtigen sind. Als mögliche Eintragsquelle zieht Greenpeace Abwasserbehandlungsanlagen, industrielle Einleitungen, Verluste bei der Produktion und Lagerung in Ufernähe sowie fahrlässigen Umgang in Betracht. Zudem vermuteten sie weiterhin, dass einige der Beads in Ionenaustauschern von Wasseraufbereitungsanlagen verwendet werden und so in den Wasserkreislauf gelangen.

1.4 Herausforderungen bei der Untersuchung von Mikroplastik

Wie in Abschnitt 1.1 beschrieben, handelt es sich bei „Mikroplastik“ um eine Zusammenfassung sehr unterschiedlicher Materialien, die sich in der Umwelt und auch im Abwasser allein aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte sehr unterschiedlich verhalten (z.B. aufschwimmen vs. absinken). Entsprechend schwierig ist die Entwicklung geeigneter Verfahren für eine repräsentative Probenahme sowie Analyseverfahren, die alle Materialien mit vertretbarem Aufwand erfassen können. Auch wenn nun seit gut zehn Jahren Mikroplastik verstärkt untersucht wird, gibt es noch immer keine standardisierten Verfahren. Während es für Oberflächengewässer und kommunale Abwassereinleitungen inzwischen zahlreiche Publikationen

zur Orientierung gibt, standen industrielle Direkteinleiter bislang wenig im Fokus[19]. Die Bedingungen dort können sich stark unterscheiden und ein Probenahmeverfahren muss die Entnahme repräsentativer Proben sowohl aus Ablaufrinnen und -kanälen, Schächten, Rohrleitungen, als auch aus Bypass-Leitungen und Zapfstellen ermöglichen. Eine direkte Entnahme im Abwasserstrom ist vielfach nicht möglich, da z. B. keine Zugriffsmöglichkeiten auf die unterirdisch verrohrten Leitungen besteht oder die Einbringung von Probenahmevorrichtungen aufgrund der hohen Durchströmungsgeschwindigkeiten nur mit unverhältnismäßige hohem technischen Aufwand realisierbar wäre. An anderen Messpunkten ist der Zugriff in Schächte/Rohrleitungen zwar möglich, oft muss aber mit Pumpen gearbeitet werden, die wiederum einen repräsentativen Teilstrom aus dem Hauptstrom erfassen müssen. Auch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten und Druckverhältnisse müssen bei der Probenahme berücksichtigt werden. Es müssen weiterhin auch bezüglich der Probenvolumina und der Maschenweite für die Anreicherung der Proben Kompromisse gefunden werden. Je mehr Matrix (= Störstoffe wie Sand, Laub, feines organisches Material) eine Abwasserprobe enthält und je kleiner die gewählte Maschenweite der Siebvorrichtungen, desto schneller setzt sich diese zu und beschränkt das Probenvolumen.

Eine Probenaufbereitung ist je nach Analyseverfahren, vorliegender Probenmatrix und dem angestrebten Größenbereich zu wählen. Je mehr organische und/oder anorganische Störstoffe in der Probe vorhanden sind und je feiner die analytische Auflösung gewählt werden soll, desto aufwendiger ist die vorherige Aufarbeitung der Probe.

[19] BITTNER, H. and LACKNER, S. (2020): First quantification of semi-crystalline microplastics in industrial Wastewaters. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520315812

2 Messprogramm 2023/24

2.1 Ziel der Untersuchungen in Einleitern und Rhein

Ziel dieses Pilotprojektes war in erster Linie die Anpassung bzw. Weiterentwicklung geeigneter Methoden zur Überwachung von primärem Mikroplastik in Abwassereinleitungen und schiffbaren Fließgewässern. Um einen ersten Überblick über die Einträge von primärem Mikroplastik aus Chemieparks in den Rhein zu bekommen, wurde in enger Abstimmung zwischen MUNV, den Bezirksregierungen Düsseldorf und Köln sowie dem LANUV (heutiges LANUK) ein Messprogramm bei potentiellen Einleitern sowie im Rheinabschnitt zwischen Bad Godesberg und Duisburg aufgestellt.

Da es bislang kaum Untersuchungen von industriellen Einleitern gibt, hat das LANUV (heutiges LANUK) die für Mikroplastik-Untersuchungen gängigen Probenahmeverfahren für die Fragestellung des Messprogramms weiterentwickelt. Die Identifikation von Mikroplastik wurde ähnlich wie in den o. g. Studien von Uni Basel und Greenpeace zunächst auf primäres Mikroplastik in Form von Beads im Größenbereich von 100 bis 1000 µm (= 1 mm) beschränkt, da Probenahme und Analytik mit abnehmender Partikelgröße zunehmend anspruchsvoller und aufwendiger werden. Die Verfahren für Probenahme und Analytik wurden dabei schon so konzipiert, dass sie durch weitere Optimierungen langfristig auch für die Identifikation und Quantifizierung auch kleinerer Mikroplastikpartikel geeignet sind.

Die hier vorgestellten Untersuchungen sind als Pilotstudie für eine erste Einschätzung zu verstehen. Es wird unterstrichen, dass die Ergebnisse nicht mit einer amtlichen Abwasserüberwachung gleichzusetzen sind. Aus dem Bewusstsein, dass es sich um nichtstandardisierte Methoden und bislang einmalige Momentaufnahmen handelt, die nicht zu einer abschließenden Quantifizierung der eingetragenen Konzentrationen genügen, werden die untersuchten Industriebetreiber im Folgenden chiffriert dargestellt.

2.2 Auswahl der Messstellen

Als mögliche Eintragsquellen für primäres Mikroplastik wurden insgesamt vier Chemiestandorte entlang des Rheins untersucht. Dabei wurden pro Chemiestandort verschiedene Messstellen in unterschiedlichen Abwasserströmen beprobt. Es handelt sich sowohl um direkt in den Rhein einleitende Abwasserströme, als auch um Teilströme, die lediglich der Rückverfolgung der Mikroplastik-Quellen innerhalb des Betriebs dienen sollten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Messstellen der Einleiter- bzw. Abwasseruntersuchung

Bezeichnung potenzieller Einleiter	Rhein-Kilometer	Anzahl Messstellen in Einleitungen	Anzahl Messstellen in Teilströmen
A	670	1	1
B	698 bis 703	3	/
C	710	5	/
D	767	2	4

Soweit technisch umsetzbar, wurden jeweils die Messstellen für die amtliche Abwasserüberwachung beprobt und zusätzlich Abwasser-(Teil)Ströme, in denen erhöhte Beads-Konzentrationen zu erwarten wären. Die Zusammensetzung und vorherige Behandlungstechnik unterscheidet sich je nach untersuchtem Abwasser. Dazu gehören u.a. auch nichtbehandlungspflichtige Niederschlagseinleitungen, die abgespülte Beads vom Firmengelände enthalten könnten. Pro Standort wurden zwischen zwei und sechs Messstellen, insgesamt 16 Messstellen, untersucht.

Um zusätzlich einen Überblick über die Belastung im Rhein zu erhalten, wurde der Rhein von Eintritt nach NRW bis Duisburg an folgenden Messstellen (Tabelle 2) untersucht:

Tabelle 2: Messstellen der Rhein-Untersuchung 2023

Messstelle	Rhein-Kilometer	Rheinseite (in Fließrichtung)
Bad Godesberg	648,7	links
Mondorf	666,0	rechts
Sürth	674,0	links
Köln-Niehl	694,9	links
Leverkusen	698,9	rechts
Zons	717,8	links
Düsseldorf-Flehe	732,2	rechts
Duisburg-Serm	761,3	rechts
Duisburg-Rheinhausen	773,2	links

2.3 Probenahme Abwasser

Zur Probenahme wurden Kaskadensysteme eingesetzt. Diese bestehen aus drei Filterkartuschen mit jeweils unterschiedlichen Maschenweiten (500 µm, 300 µm und 100 µm), die bei der Mikroplastik-Probenahme in der Reihenfolge von groß nach klein durchströmt werden. Innerhalb der Gehäuse werden die Filter von außen nach innen durchströmt. Die Systeme sind mit einer Durchflussmengenmessung ausgestattet, um die beprobte Wassermenge zu bestimmen. Je nach Art der Abwassermessstelle ergaben sich unterschiedliche Herausforderungen an das Probenahmeequipment:

- Bypass-Systeme mit fest installiertem Entnahmehahn: Der Vordruck des Kaskadensystems wird durch den Wasserdruck in der Entnahmeleitung vorgegeben (passive Kaskade, Abbildung 3 links). Aus den üblicherweise geringen Wasserdrücken resultieren lange Probenahmezeiten, um die erforderliche Wassermenge durch die Filterkaskaden zu leiten.
- Schächte oder offene Gerinne: Zur Probenahme muss das Abwasser mittels einer Pumpe durch das Kaskadensystem gefördert werden (aktive Kaskade, Abbildung 3, rechts). Für den Betrieb der Pumpe ist eine externe Stromversorgung erforderlich.

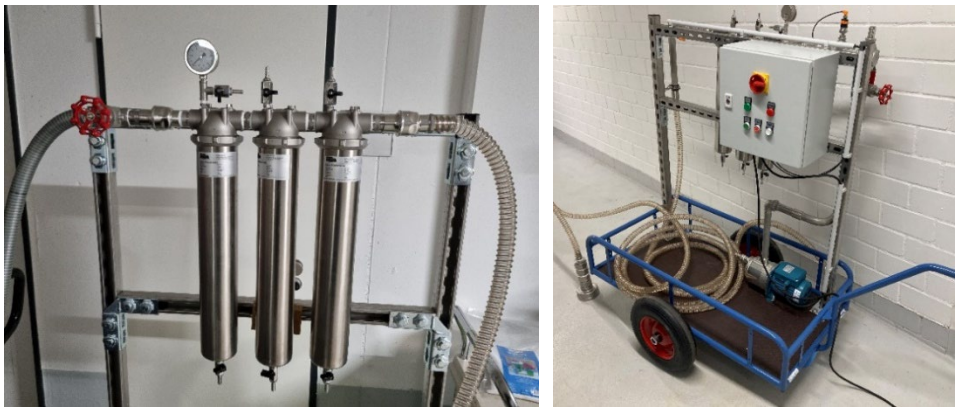


Abbildung 3: Filterkaskadensysteme zur Probenahme in Teilströmen und Einleitern. Links: Geschlossene Filterkaskade mit Zu- und Ablauf für die Probenahme an Bypass-Systemen – passive Kaskade. Rechts: Mobiles Kaskaden-system mit zusätzlicher Pumpe zur Entnahme aus Schächten – aktive Kaskade.

Die Filterkaskadensysteme wurden vor Einsatz im Labormaßstab getestet und die Wiederfindungsraten unter kontrollierten Bedingungen bestimmt.

Bei der Probenahmen vor Ort wurden je nach Gegebenheiten an einer Messstelle zwischen 1 m³ und 14 m³ Abwasser über die Filterkaskade gepumpt. Da in einem Fall eine so hohe Bead-Konzentration vorlag, dass diese nicht mehr manuell auszählbar war, wurde die Probenahme dort mit geringeren Probevolumina wiederholt. Letztlich wurden an dieser Messstelle (Einleiter B, MST 3) nur 3,5 Liter Stichproben (direkte Flaschenabfüllung) entnommen – und aufgrund des geringen Probenvolumens eine zweifache Stichprobe untersucht.

2.4 Probenahme Oberflächenwasser

Die Probenahme von Oberflächenwasser wurde an insgesamt neun Messstellen im Rhein mittels Manta-Trawl (Abbildung 4) durchgeführt.

Abbildung 4: Probenahme im Rhein mit dem Forschungsschiff Max Prüss. Ein Manta-Trawl (links) wird mittels Kran (rechts) neben dem Schiff an der Wasseroberfläche positioniert.

Der Manta-Trawl besteht aus einem rechteckigen Metallrahmen mit einer Öffnung von 15 x 30 cm (Höhe x Breite) und einem daran anschließenden Schleppnetz von ca. 1 m Länge mit einer Maschenweite von 100 bzw. 300 µm[20]. Seitlich sind Metallflügel für eine stabile Lage an der Wasseroberfläche angebracht. Unterhalb der Öffnung befindet sich ein Flügelrad für die Messung des Durchflusses.

Die Berechnung der beprobten Wassermenge erfolgt nach folgender, vom Hersteller angegebener Formel:

$$Umdrehungen\ Flügelrad \times 0{,}3[m] \times Öffnung\ Manta - Trawl[m^2] = Wassermenge[m^3]$$

Während der Probenahme wurde der Manta-Trawl am Laborschiff Max Prüss befestigt und bei ortsfestem Schiff an der Gewässeroberfläche entgegen der Strömung positioniert. Bedingt durch diese Lage und die Wellenbewegungen des Fließgewässers, befindet sich die Öffnung des Manta-Trawls nicht permanent vollständig unter der Wasseroberfläche. Die Lage des Manta-Trawls wurde während der Probenahmen dokumentiert. Für die Probenahmen, bei denen sich die Öffnung nur gelegentlich aus dem Wasser erhoben hat, wurde die Öffnung von

[20] Wie beschrieben handelt es sich um eine Pilotstudie zur Methodenentwicklung für Gesamt-Mikroplastik. Daher wird auch mit unterschiedlichen Maschenweiten hantiert, um einen Kompromiss zwischen dem Herausfiltern möglichst kleiner Mikroplastikpartikel und einem zu schnellen Zusetzen eines engmaschigen Netzes mit Schwebstoffen zu finden. D.h. die Konzentrationen von Beads zwischen 100–300 µm können auch methodisch bedingten Schwankungen unterliegen.

0,045 m² mit 90 % (= 0,0405 m²) in die Rechnung eingesetzt, für die Proben, bei denen die Öffnung häufiger nicht vollständig unter Wasser lag, wurde die Öffnung mit 70 % (= 0,0315 m²) einbezogen. Hieraus ergeben sich folgende Probenmengen (Tabelle 3):

Tabelle 3: Probenmengen der Rheinwasserbeprobung mittels Manta-Trawl

Probenahmestelle	Rheinkilometer	Korrekturfaktor [%]	Volumen [m³]
Duisburg-Rheinhausen	773,2 links	70	42
Duisburg-Serm	761,3 rechts	70	47
Düsseldorf-Flehe	732,2 rechts	70	47
Zons	717,8 links	70	50
Leverkusen	698,9 rechts	90	51
Köln-Niehl	694,9 links	70	46
Sürth	674,0 links	70	48
Mondorf	660,0 rechts	90	56
Bad Godesberg	648,7 links	90	48

2.5 Probenaufbereitung und Analytik (Oberflächengewässer und Abwasser)

Nach der Probenahme wurde die Umweltprobe nicht wie sonst üblich in Probenahmegefäße überführt, sondern das komplette Probenahmegerät (Netz des Manta-Trawls bzw. Filterkartusche des Kaskadensystems) mit dem darin enthaltenen Probenmaterial wurde in geeigneten Transportbehältern an das Labor überführt, um Partikelverluste zu vermeiden (Abbildung 5 a+b).

Im Labor wurde das Probenmaterial von dem Netz bzw. Filter abgespült und durch Metallsiebe gefiltert (Abbildung 5 b). Die relevanten Siebfraktionen (> 100 µm und < 1 mm) wurden nachfolgend in einem zweistufigen Verfahren weiter aufgearbeitet. In Anlehnung an in der Literatur beschriebene Verfahren wurde die Probe zunächst mit Fentons-Reagenz versetzt, um das organische Material zu zersetzen (Abbildung 5 c). Im zweiten Schritt wurde über eine Dichtetrennung in einer Natrium-Iodid-Lösung (Dichte 1,7 bis 1,8 g/cm[21]) die anorganische Matrix abgetrennt (Zeitaufwand ca. 24 h pro Probe; Abbildung 5 d) und anschließen das verbliebene Probenmaterial abfiltriert (Abbildung 5 e+f).

Die auf den Filtern verbliebenen Beads wurden anschließend unter einer Stereolupe ‚manuell' ausgezählt (Abbildung 5 g+h und Abbildung 6 b).

[21] Aus Nachhaltigkeitsgründen wird die aufgereinigte Natrium-Iodid-Lösung mehrfach verwendet – dadurch kann es zu leichten Schwankungen der Dichte kommen.

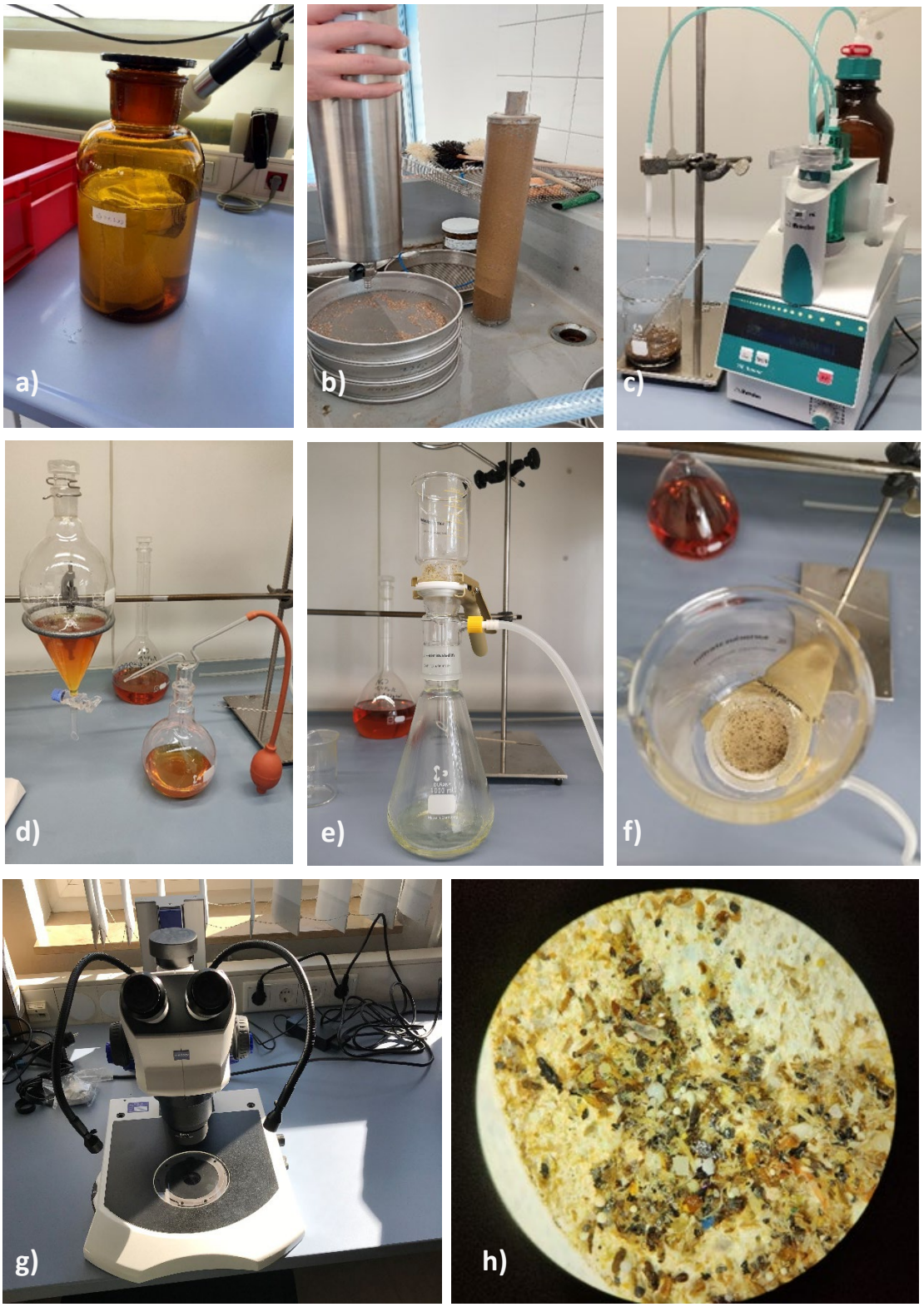


Abbildung 5: Probenaufbereitung im Labor: Netze (a) bzw. Filterkartuschen (b) werden beladen in das Labor übergeben und dort das Probenmaterial gesiebt (b), mit Fenton-Reagenz von organischer Matrix gereinigt (c), anschließend über Dichtetrennung von anorganischen Matrix-Bestandteilen separiert (d), und über Vakuum-Filtration auf Filter überführt (e, f), auf denen dann die optische Auszählung unter Stereolupen erfolgte (g, h). Bildquelle: LANUK NRW

In vielen Fällen funktioniert dieses Verfahren gut (Abbildung 5 h und Abbildung 6 b). Bei einigen stark Matrix-verunreinigten Proben waren jedoch auch nach der zweistufigen Aufarbeitung noch größere Mengen der Matrix vorhanden, wodurch die Auswertung deutlich erschwert wurde (Abbildung 6 a).

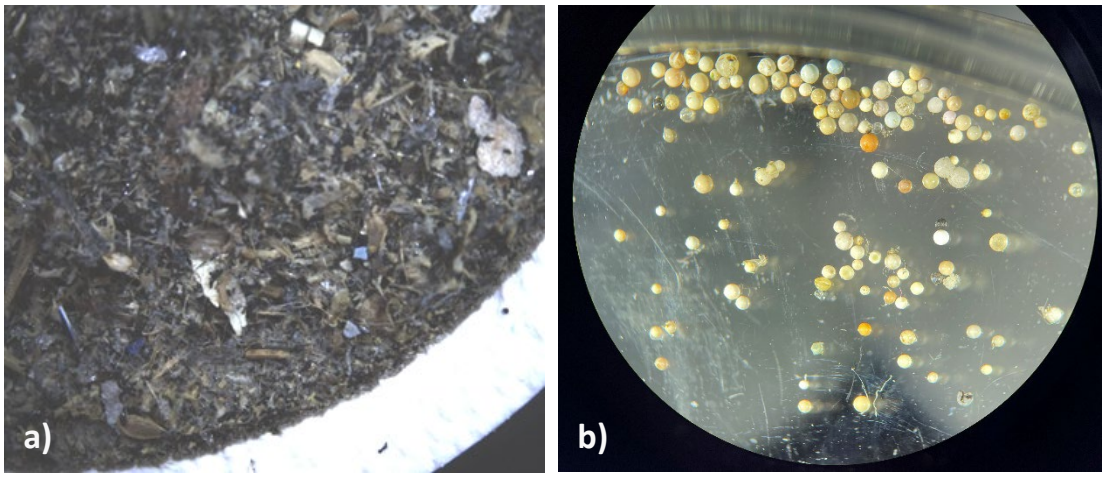


Abbildung 6: Beads unter der Stereolupe.
a) Dichte Matrix in einer Abwasserprobe, die schwer aufbereitet werden kann.
b) Aufbereitete Beads aus einer Probe.
Bildquelle: LANUK NRW

Eine automatisierte Identifikation mittels des am LANUK verwendeten *laser direct infrared imaging* (LDIR)-Systems war bei diesen Proben nicht möglich – zum einen aufgrund der noch verbliebenen Matrix und zum anderen weil die Beads aufgrund ihrer Geometrie von der IR-Detektion nicht gut erfasst werden können, so dass Fehlmessungen nicht auszuschließen sind.

Um die Ergebnisse mit den Befunden aus den anderen Rhein-Untersuchungen vergleichen zu können, ist auch eine Messung mittels Pyrolyse-GC ungeeignet, da über diese Technik zwar eine Abschätzung der Masse pro Kunststoffart möglich ist, aber nicht die Angabe einer Partikelanzahl und die Unterscheidung in ihrer geometrischen Form.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Wiederfindungsversuche im Labor haben gezeigt, dass die Filterkaskaden zur Probenahme grundsätzlich geeignet sind. Dennoch muss bei der Interpretation der Messergebnisse beachtet werden, dass die Erfassung von Partikeln aus dem Abwasserstrom auch von den individuellen Voraussetzungen an jeder Messstelle abhängig ist (s. Abschnitt 1.4 „Herausforderungen“). Zudem handelt es sich jeweils um einmalige Stichproben. Der Mikroplastikaustrag kann aber durch verschiedene Faktoren, wie z.B. die derzeitigen Betriebszustände und die Wetterlage stark beeinflusst werden – Stichproben bilden immer nur eine Momentaufnahme ab, die nicht unbedingt repräsentativ für den kontinuierlichen Eintrag sein muss.

Ähnliches gilt für die Beprobung der Gewässeroberfläche. Zwar erfolgte die Befahrung des Rheins an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, an denen keine besonderen Niederschlagsereignisse auftraten, dennoch können möglicherweise deutlich stromaufwärtsliegende Ereignisse (z.B. Stoßbelastungen durch Oberlieger) die Konzentrationen am jeweiligen Messpunkt beeinflussen. Zudem ist zu berücksichtigten, dass in dieser Pilot-Untersuchung noch mit Netzen unterschiedlicher Maschenweite experimentiert wurde – die Ergebnisse sind somit nur bedingt vergleichbar.

3.1 Ergebnisse Abwasser

Die Ergebnisse der Abwasseruntersuchungen sind unterteilt nach direkten Einleitungen in den Rhein (Abbildung 7) und Abwasser-Teilströmen, die vor der Einleitung noch einer weiteren Aufreinigung unterzogen werden (Abbildung 8), dargestellt.

Insgesamt konnte an allen untersuchten Abwassermessstellen primäres Mikroplastik in Form von Beads gefunden werden. Die Spanne der Befunde erstreckt sich von **0,95 Beads/m³ bis 2571 Beads/m³** (jeweils Einleiter B).

Die breite Spannweite dieser Ergebnisse zeigt, dass Extrem-Konzentrationen von Chemiestandorten stammen können – aber nicht generell in den Abläufen aller Betriebe gefunden werden.

Der Maximalbefund von 2571 Beads/m³ liegt weit oberhalb der anderen Befunde, die sich alle zwischen 0,95 und 18,9 Beads/m³ bewegen. Dabei handelt es sich bei der Probe mit den höchsten Konzentrationen um eine Nachuntersuchung mit abweichender Probenahmemethode (direkte Flaschenabfüllung, s. Kapitel 2.3). Bei der ersten Beprobung an dieser Messstelle wurden mittels Filterkaskade in den beprobten 10 m³ eine so hohe Anzahl Beads gefunden, dass die manuelle Auszählung abgebrochen wurde und eine erneute Probenahme mit lediglich 0,5 m³ Abwasser erfolgte. Auch bei dieser Probe wurde die Zählung bei ca. 1.000 Beads abgebrochen und die Probenahme schließlich per Stichprobe mit einem Volumen von 3,5 Litern zweimalig wiederholt. Mit 2.000 und 2.571 Beads/m³ liegen die Ergebnisse der beiden Stichproben nah beieinander und auch wenn die Bead-Konzentrationen der beiden ersten Probenahmen nicht quantifiziert werden konnten, bestätigen sie doch, dass zu allen drei Zeitpunkten auffällig hohe Anzahlen von Beads in den Proben vorhanden waren.

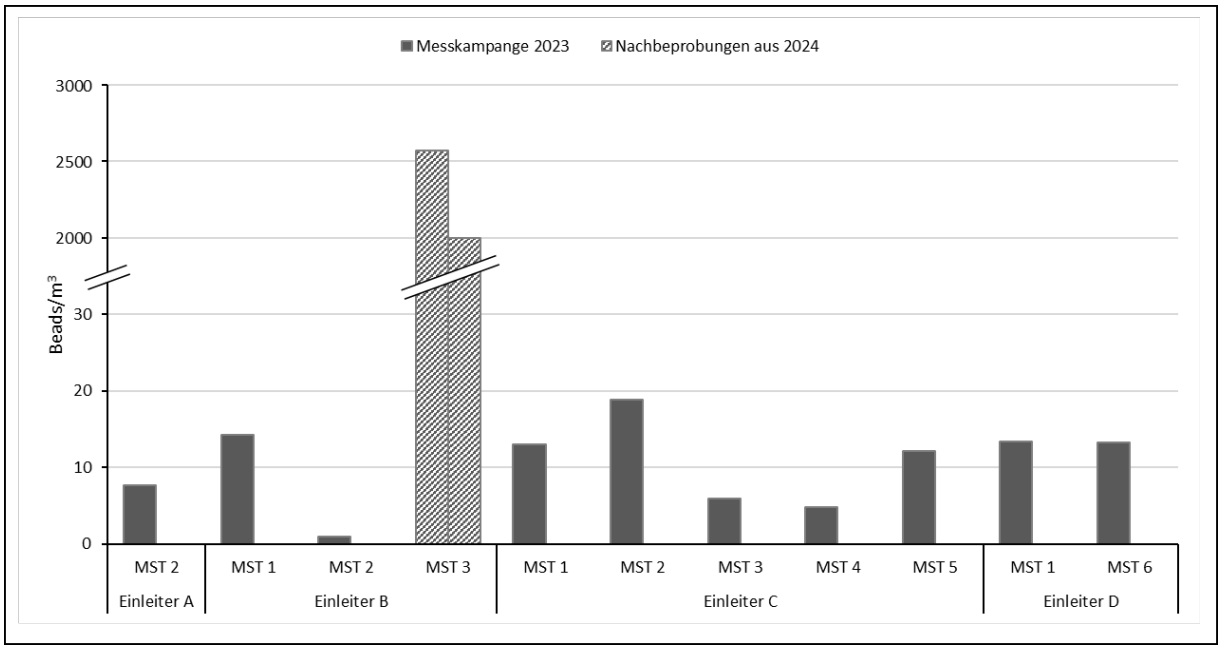


Abbildung 7: Ergebnisse der Abwasseruntersuchung in den direkten Einleitungen der untersuchten Chemiestandorte A, B, C und D. An der MST 3 des potentiellen Einleiters B wurde die Untersuchung aufgrund der hohen Bead-Konzentration mit geringem Probenahmevolumen wiederholt und eine Doppelbestimmung durchgeführt. Zu beachten ist die unterbrochene Y-Achse, wodurch eine gemeinsame Darstellung aller Ergebnisse bei ausreichender Auflösung im niedrigen Konzentrationsbereich ermöglicht wurde.

Inwieweit es sich bei den hier dargestellten Befunden von verschiedenen Chemiestandorten um (relativ) kontinuierliche Einträge handelt oder ob die Konzentrationen an den einzelnen Messstellen größeren Schwankungen unterliegen, muss durch weitere Probenahmen ermittelt werden.

Weitere Wiederholungsuntersuchungen liegen bislang nur aus Teilströmen vor. Abbildung 8 zeigt dabei ein z.T. heterogeneres Bild. Insbesondere an MST 4 des Einleiters D wurde die hohe Konzentration von 155 Beads/m³ aus der Beprobung 2023 bei den beiden Wiederholungsuntersuchungen in 2024 nicht wieder festgestellt, während an MST 2 bei der dritten Wiederholung eine deutlich höhere Konzentration als in den vorangehenden Proben gefunden wurde.

Hierfür kann es sehr unterschiedliche Ursachen geben, über die bislang nur spekuliert werden kann. U. a. könnten unterschiedliche Auslastungen bei der Produktion in Frage kommen oder Unterschiede im Abwasservolumen, die zu unterschiedlichen Verdünnungen der Beads-Konzentration führen. Ebenso können auch Unsicherheiten bei der Probenahme, auf die in Kapitel 1.4 „Herausforderungen bei der Untersuchung von Mikroplastik“ hingewiesen wurde, zu unterschiedlichen Ergebnissen beitragen.

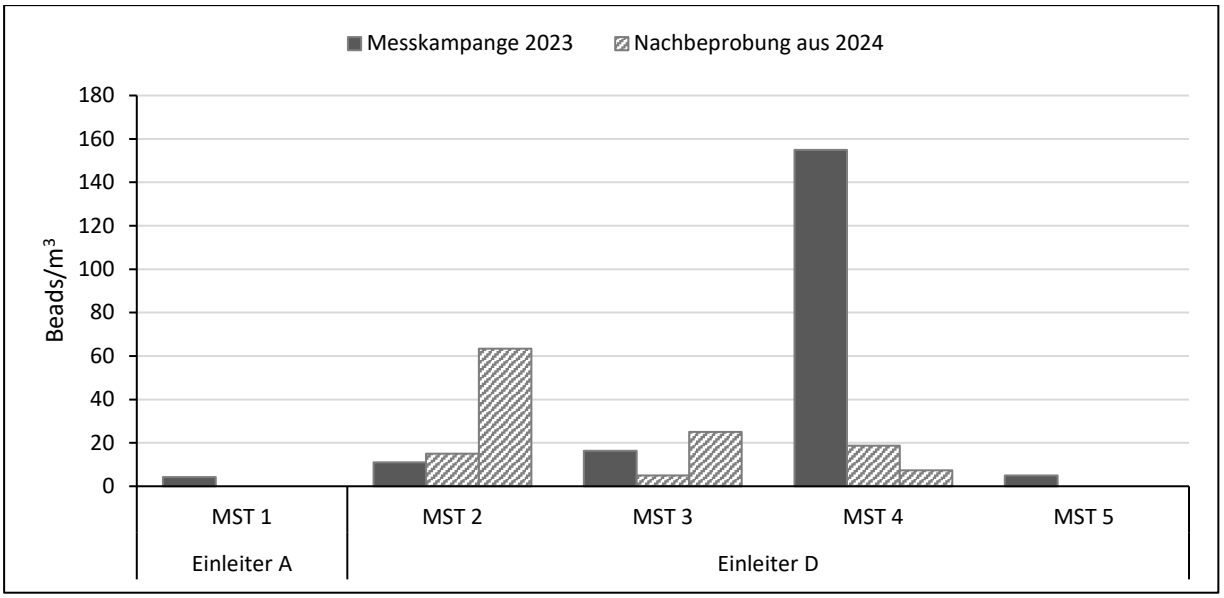


Abbildung 8: Ergebnisse aus der Beprobung von Teilabwasserströmen an zwei Chemiestandorten. Die Teilströme werden vor der Einleitung in den Rhein noch über verschiedene Verfahren aufgereinigt.

Um dies aufzulösen, sind weitere Untersuchungen, insbesondere auch an Messstellen, die direkt in den Rhein einleiten, erforderlich. Denn auf Basis der vorliegenden Ergebnisse kann nicht beurteilt werden, ob Messstellen, welche in dieser Untersuchung keine oder nur geringe Belastung mit Mikroplastik zeigten, auch generell keinen signifikanten Beitrag zu dem im Rhein gefundenen Mikroplastik leisten. Bei der Begehung der Messstellen wurde z. B. in einzelnen Betriebsbereichen bereits optisch festgestellt, dass sich dort Mikroplastikpartikel auf dem Boden befinden, welche bei einem Regenereignis abgespült werden und mit dem Niederschlagswasser ohne weitere Abwasserbehandlung in den Rhein eingetragen werden können. Erst Folgeuntersuchungen bei unterschiedlichen (Witterungs-)Bedingungen können einen repräsentativen Eindruck über den Beitrag der einzelnen Industrieanlagen zur Beads-Belastung im Rhein liefern.

Zudem ist zu beachten, dass sich die dargestellten Ergebnisse auf Konzentrationen beziehen – unabhängig vom Gesamtabwasser-Eintrag. Hohe Einleitungsvolumina mit niedrigen Konzentrationen können insgesamt einen höheren Beitrag zur Gesamtbelastung des Rheins leisten, als kleine Ablaufmengen mit hohen Konzentrationen.

Vergleichswerte aus anderen Studien in industriellen Einleitern fehlen weitgehend bzw. sind deren Ergebnisse nicht mit den vorliegenden vergleichbar, da z. B. die Masse von Gesamt-Mikroplastik bestimmt wurde oder andere Unterschiede im Versuchsdesign vorliegen (BITTER und LACKNER 2020[22]).

[22] Bittner, H. and Lackner, S. (2020): First quantification of semi-crystalline microplastics in industrial Wastewaters. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520315812

3.2 Ergebnisse Rhein-Untersuchung

Im Rhein selbst wurden zwischen Bad Godesberg und Duisburg (Rhein km 648,7 und 773,2) in allen neun Proben Mikroplastik-Beads gefunden. Die Konzentrationen bewegen sich zwischen **0,6 bis 3,6 Beads/m³** und nehmen tendenziell im Verlauf des Rheins von Süd nach Nord zu (Abbildung 9). Damit decken sich die Ergebnisse aus den Untersuchungen des Rheins gut mit vergleichbaren Untersuchungen (durch Greenpeace und Uni Basel; vgl. Kapitel 1.3 „Weitere Untersuchungen im Rhein“).

Eine „Grundbelastung“ mit Beads wurde bereits flussaufwärts der untersuchten Chemiestandorte festgestellt (Bad Godesberg 0,6 Beads/m³ und Monheim 1,0 Beads/m³). Die zu beobachtende Zunahme im Rhein-Verlauf erfolgt nicht stetig, sondern unterliegt gewissen Schwankungen. Bei Betrachtung der Abbildung 9 ist zu beachten, dass die Proben nicht als im Flussverlauf aufeinanderfolgend bewertet werden können, sondern z. T. am linken und z. T. am rechten Ufer entnommen wurden. Es ist bekannt, dass sich die Fahne einer Einleitung über viele Kilometer strecken kann, bevor es zu einer (vollständigen) Durchmischung kommt. Daher ist es unwahrscheinlich, dass beispielsweise Beads aus einem Einleiter auf der linken Seite bereits wenige Kilometer unterhalb dieser Einleitung auch auf der rechten Rheinseite gefunden werden können. Das hier durchgeführte Messprogramm war zunächst darauf ausgelegt, eine Übersicht über die Belastungssituation mit Beads im Rhein-Längsverlauf abzubilden. In einem aktuell laufenden Messprogramm liegt der Fokus auf einem Vergleich ober- und unterhalb potentieller Einleiter. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass hier z. T. noch Netze mit einer Maschenweite von 300 µm eingesetzt wurden. D. h. Beads mit einem geringeren Durchmesser werden nicht (vollständig) im Netz zurückgehalten. Es ist zwar aus früheren Untersuchungen bekannt, dass ein Großteil dennoch im Filterkuchen hängenbleibt, eine quantitative Bestimmung der Beads < 300 µm ist aber nicht möglich.

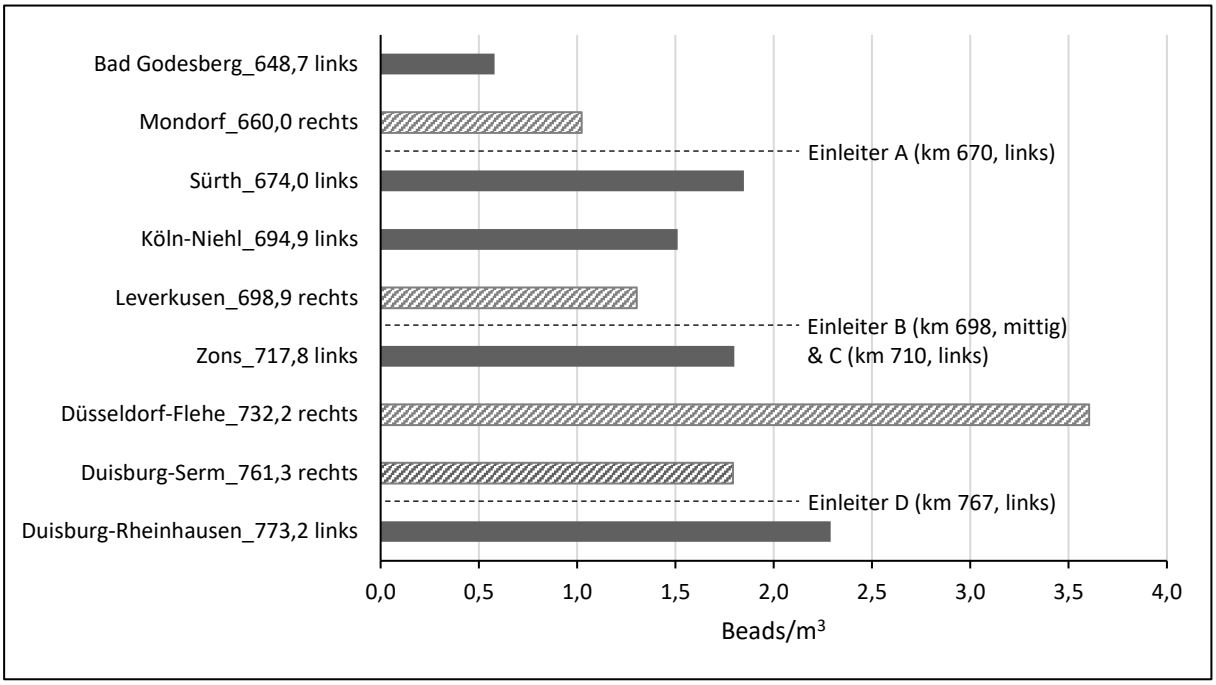


Abbildung 9: Ergebnisse der Untersuchung des Rheins auf primäres Mikroplastik. In grau sind die Ergebnisse der Messstellen auf der linken Rheinseite, in schraffiert die Ergebnisse von Messstellen auf der rechten Rheinseite dargestellt. Die gestrichelten Linien symbolisieren die Lage der Einleiter zwischen den Messstellen.

Insgesamt wird die Schwankungsbreite der im Rhein ermittelten Bead-Konzentrationen als gering eingeschätzt. Es ist bekannt, dass die Mikroplastikkonzentration in Fließgewässern bei Wiederholungsuntersuchungen an gleichen Messstellen innerhalb kurzer zeitlicher Abstände (wenige Stunden) stark variieren können. Eigene Untersuchungen des LANUV (heutiges LANUK) und der Uni Bayreuth im Rhein bei Duisburg zeigten, dass bei einer dreifachen Wiederholungsuntersuchungen innerhalb von 24 Stunden Schwankungen von Faktor 3 bis 7 bei der Bead-Konzentration auftreten (SCHRANK et al. 2022[23]). Ähnliches zeigte sich auch bei den Doppelbeprobungen von Greenpeace, die an zwei aufeinanderfolgenden Tagen an der exakt gleichen Messstelle Unterschiede von Faktor 3 festgestellt haben. Bei den hier dargestellten Ergebnissen liegen die Unterschiede an aufeinanderfolgenden Messstellen i.d.R. ebenfalls um Faktor 2 bis 3. Zwischen der niedrigsten (0,6 Beads/m³, Bad Godesberg) und der höchsten ermittelten Konzentration (3,6 Beads/m³, Düsseldorf) liegt der Faktor 6.

Es kann bislang nur spekuliert werden, inwiefern diese erfassten Konzentrationsschwankungen die normale Schwankungsbreite im Rhein abbilden oder (zusätzlich) durch die Probenahme-Methodik beeinflusst werden. Mögliche Ursachen für variierende Konzentrationen können stoßweise Einträge in das Gewässer oder eine stoßweise Remobilsierung aus dem Sediment/Uferbereich durch Wellenbewegungen sein. Diese wiederum können stark durch das Wetter aber auch den Schiffsverkehr beeinflusst werden. Selbst das eigene Schiff kann bei der Probenahme die Wellenbewegung und damit die Verteilung von Mikroplastik im Gewässer bzw. an der Wasseroberfläche beeinflussen. Während bei gelösten und damit homogen verteilten Chemikalien unabhängig von der Wellenbewegung eine repräsentative Stichprobe entnommen werden kann, könnten die Mikroplastik-Partikel durch bestimmte Wellenbewegungen in eine bestimmte Richtung verdrängt oder zweitweise weiter unter die Wasseroberfläche verwirbelt werden, so dass sie der relativ kleinen Öffnung des Manta-Trawls entgehen – oder andersherum zufällig ein nicht-repräsentativ hoher Anteil in das Manta-Trawl hineingespült wird. Insgesamt ist zu vermuten, dass die Konzentrationsschwankungen auch über sehr kurze Zeitintervalle bei partikulärem Mikroplastik höher sind, als bei gelösten, homogen verteilten Chemikalien. Um solche Einflussgrößen besser einschätzen zu können, ist weitere Forschung auf diesem Gebiet nötig.

[23] SCHRANK et al. (2022): Riverine microplastic contamination in southwest Germany: A large-scale survey. Front. Earth Sci. 10. https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2022.794250/full

4 Fazit und Ausblick

Bei der Durchführung dieser Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der Einsatz der Filterkaskaden zur Probenahme von Mikroplastikpartikeln in Abwasserströmen grundsätzlich geeignet ist. Vor einem Einsatz als Probenahmetechnik für eine künftige systematische Abwasserüberwachung sind jedoch noch weitere Validierungsschritte erforderlich (Robustheit, Repräsentativität). Zudem sind beide zur Verfügung stehenden Probenahme-Systeme relativ personal- und zeitaufwendig. Der Transport sowie der Auf- und Abbau der Filter-Kaskaden erfordert mindestens zwei, besser drei Personen. Außerdem ist eine Unterstützung durch die überwachten Betriebe erforderlich, da z. B. bestehende Installationen verändert werden müssen oder für Strom und Abführung des gepumpten Wassers gesorgt werden muss.

Das durchgeführte Untersuchungsprogramm gibt einen guten ersten Überblick über die Konzentrationsspanne von Beads in Abwässern von Chemiestandorten. Dabei hat sich gezeigt, dass Extrem-Konzentrationen in Einleitungen auftreten können – aber nicht in allen Einleitern die Regel sind. Noch handelt es sich im Wesentlichen um Momentaufnahmen. Um genauere Aussagen treffen zu können, sind Folgeuntersuchungen bei unterschiedlichen (Witterungs-) Bedingungen nötig. Damit wurde bereits in ersten Teilströmen begonnen. Für eine bessere Aussagekraft sind weitere Probenahmen, insbesondere in den unmittelbaren Einleitungen vom LANUK geplant. Erst mit einem stabileren Bild über die Einleitung von Beads, sollten auch Hochrechnungen zum jährlichen Beitrag der einzelnen Einleiter zur Belastung des Rheins mit Beads möglich sein. Parallel finden bereits jetzt Gespräche zwischen MUNV, LANUK, den Bezirksregierungen und den Betreibern der Chemiestandorte statt, wie Quellen ermittelt und Einträge vermindert werden können. In diesem Zug konnten schon verstärkte Reinigungsarbeiten auf den Betriebsgeländen bewirkt werden, durch die diffuse Eintragungen durch Verwehung und Regenentwässerung vermindert werden.

Die Ergebnisse aus den Rheinuntersuchungen stellen zunächst nur einen Überblick über die durchschnittliche Belastung des Flusses mit Beads dar. Vergleichsdaten aus ähnlichen Untersuchungsprogrammen im Rhein stimmen gut mit den vorliegenden Ergebnissen überein. Im nächsten geplanten Schritt sollen Proben an Messstellen unmittelbar ober- und unterhalb der Chemiestandorte entnommen werden – bzw. mit gestaffeltem Abstand, so dass ausgehend von der unter Wasser liegenden Einleitungsstelle bis zur Messstelle von einem Aufschwimmen der Beads an die Oberfläche ausgegangen werden kann und diese mit dem Manta-Trawl abgeschöpft werden können.

Beads stellen nur einen Bruchteil der Mikroplastik-Emissionen im Gewässer dar. Daher werden am LANUK auch Verfahren zur Identifikation kleinerer Mikroplastikpartikel mit unklaren Formen aufgebaut. Damit können dann in industriellen Einleitern beispielsweise auch Bruchstücke von Beads identifiziert werden, die bislang in den optischen Auszählungen nicht berücksichtigt werden konnten.

5 Anhang

Tabelle A1: Ergebnisse der Abwasseruntersuchungen der Einleiter A, B, C, D

Einleiter	Messstelle	Anzahl Beads	Volumen [m³]	Beads/m³ (gerundet auf ganze Zahl)
A	1	4	1,4	4
A	**2**	**17**	**2,2**	**8**
B	**1**	**42**	**3,0**	**14**
B	**2**	**6**	**6,3**	**1**
B	**3**	**7 / 9**	**0,0035**	**2000 / 2571***
C	**1**	**24**	**1,8**	**13**
C	**2**	**102**	**5,4**	**19**
C	**3**	**10**	**1,7**	**6**
C	**4**	**40**	**8,3**	**5**
C	**5**	**106**	**8,7**	**12**
D	**1**	**64**	**4,8**	**13**
D	2	91	8,2	11
D	3	93	5,7	16
D	4	305	2,0	155
D	5	23	4,7	5
D	**6**	**193**	**14,6**	**13**

* Die Werte stammen aus einer Doppelprobung. Da nur 3,5 L Abwasser untersucht wurden, wurden zwei Stichproben entnommen (direkte Flaschenabfüllung).

Tabelle A2: Ergebnisse der Untersuchung des Rheins auf primäres Mikroplastik

Probenahmestelle	Rheinkilometer	Anzahl Beads	Volumen [m³]	Beads/m³
Duisburg-Rheinhausen	773,2 links	97	42,4	2,3
Duisburg-Serm	761,3 rechts	85	47,4	1,8
Düsseldorf-Flehe	732,2 rechts	170	47,2	3,6
Zons	717,8 links	90	50,0	1,8
Leverkusen	698,9 rechts	66	50,7	1,3
Köln-Niehl	694,9 links	69	45,7	1,5
Sürth	674,0 links	89	48,2	1,8
Mondorf	660,0 rechts	57	55,7	1,0
Bad Godesberg	648,7 links	28	48,3	0,6

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK NRW) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 E-Mail: poststelle@lanuk.nrw.de
Bearbeitung	Dr. Gregor Braun, Johannes Buchheim, Lukas Eberhardt, Dr. Klaus Furtmann, Maren Heß, Wolfgang Maurer, Justus Nikulka, Kristof Obschernicat, Simon Plinius, Juliane Schrader, Dr. Regina Will
Korrespondierende Autoren	Maren Heß (maren.hess@lanuk.nrw.de), Juliane Schrader (juliane.schrader@lanuk.nrw.de)
Stand	Januar 2025
Veröffentlichung	Mai 2025; Korrektur März 2026
Titelbild	LANUK

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Landesamt für Natur, Umwelt und Klima
Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuk.nrw.de

www.lanuk.nrw.de